

福島原子力発電所事故の根本原因と教訓 ～安全維持に必要な態度とは～



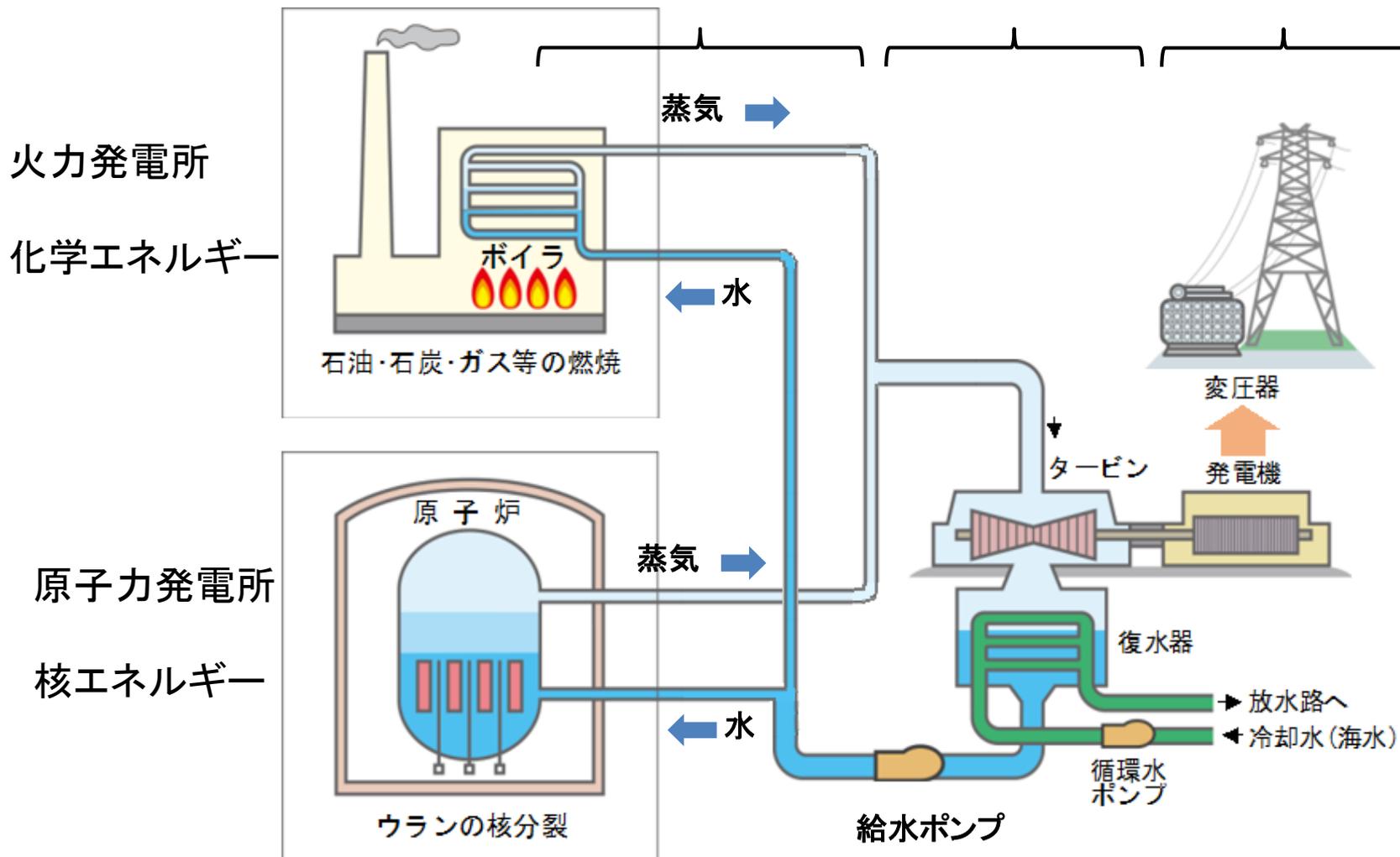
東京大学大学院 工学系研究科原子力国際専攻 笠原直人

内 容

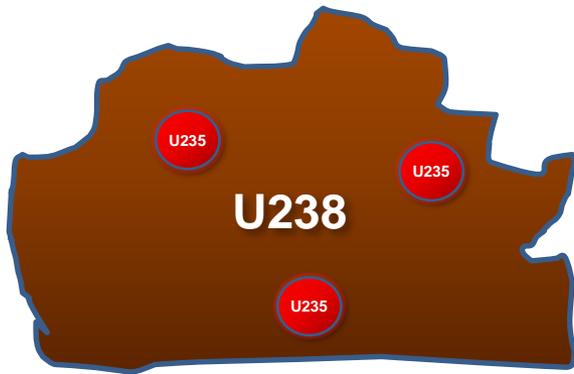
- 原子力発電所のしくみ
- 福島原子力発電所事故の直接の原因と根本原因
- 安全維持に必要な態度とは

火力発電と原子力発電の比較

熱エネルギー 運動エネルギー 電気エネルギー

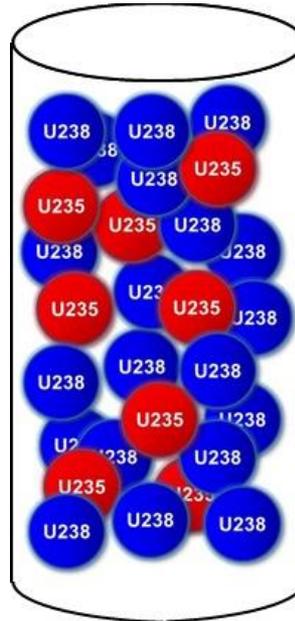


ウラン燃料の種類



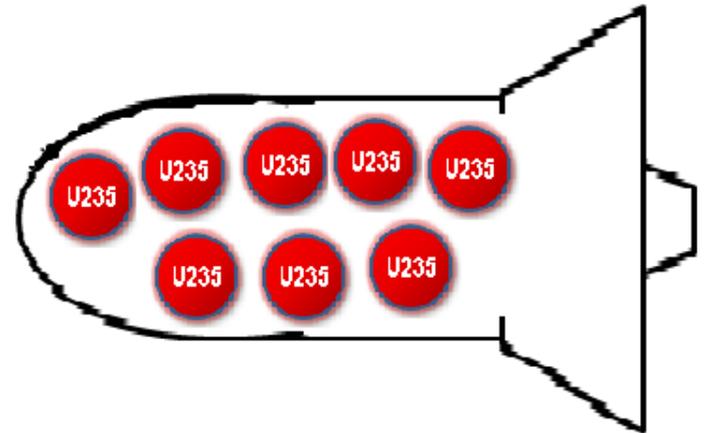
天然ウラン

U235 0.7%
U238 99.3%



原子力発電燃料

U235 約4%
U238 約96%

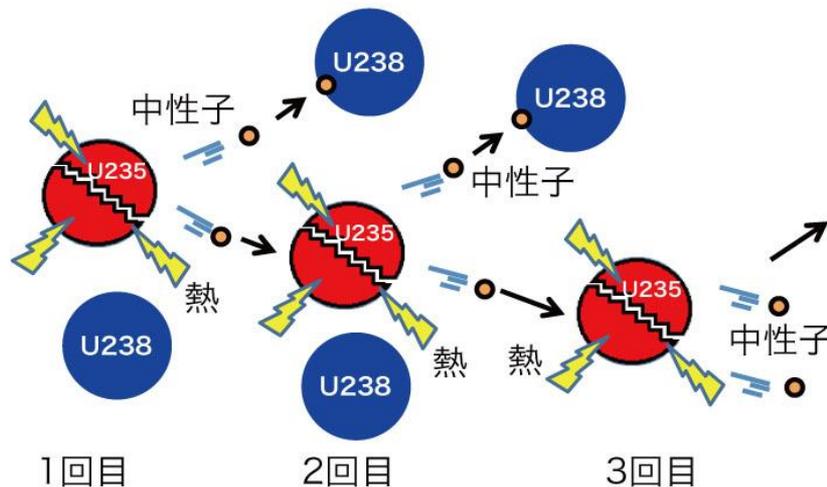


原子爆弾

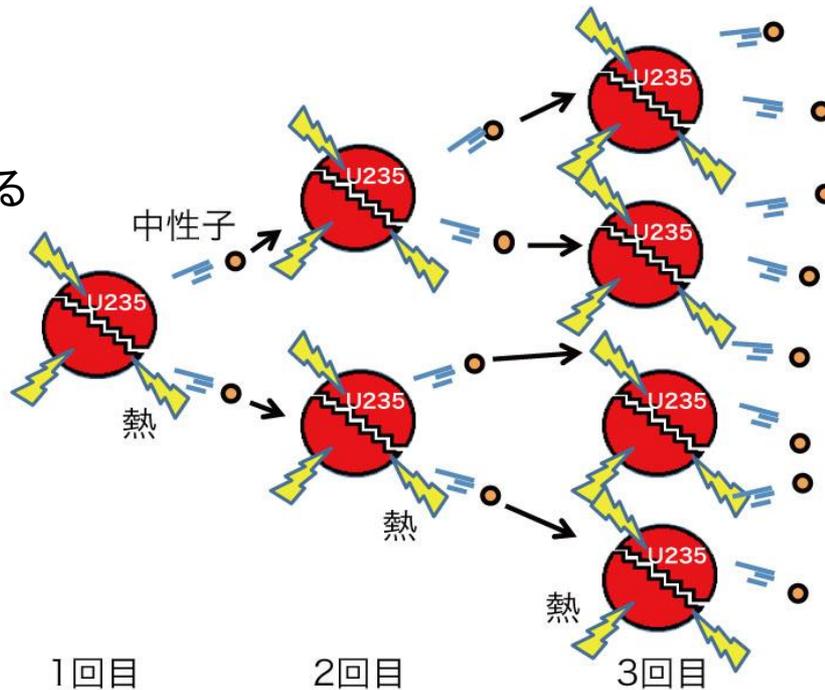
U235 ほぼ100%

原子力発電と原子爆弾の違い

原子力発電の場合
少しずつ核分裂する



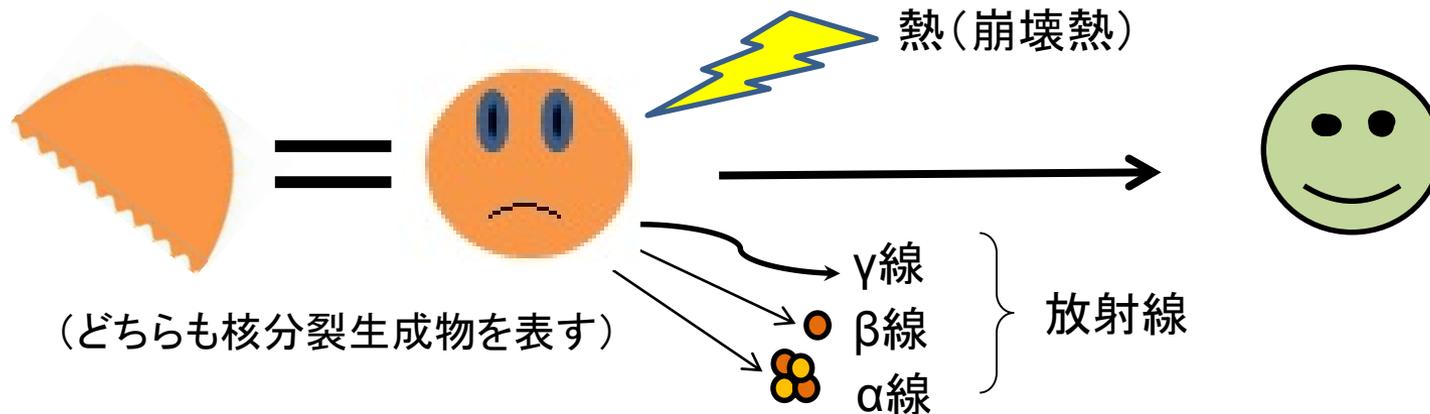
原子爆弾の場合
急激に核分裂(爆発)する



核分裂生成の崩壊による放射線と熱の発生

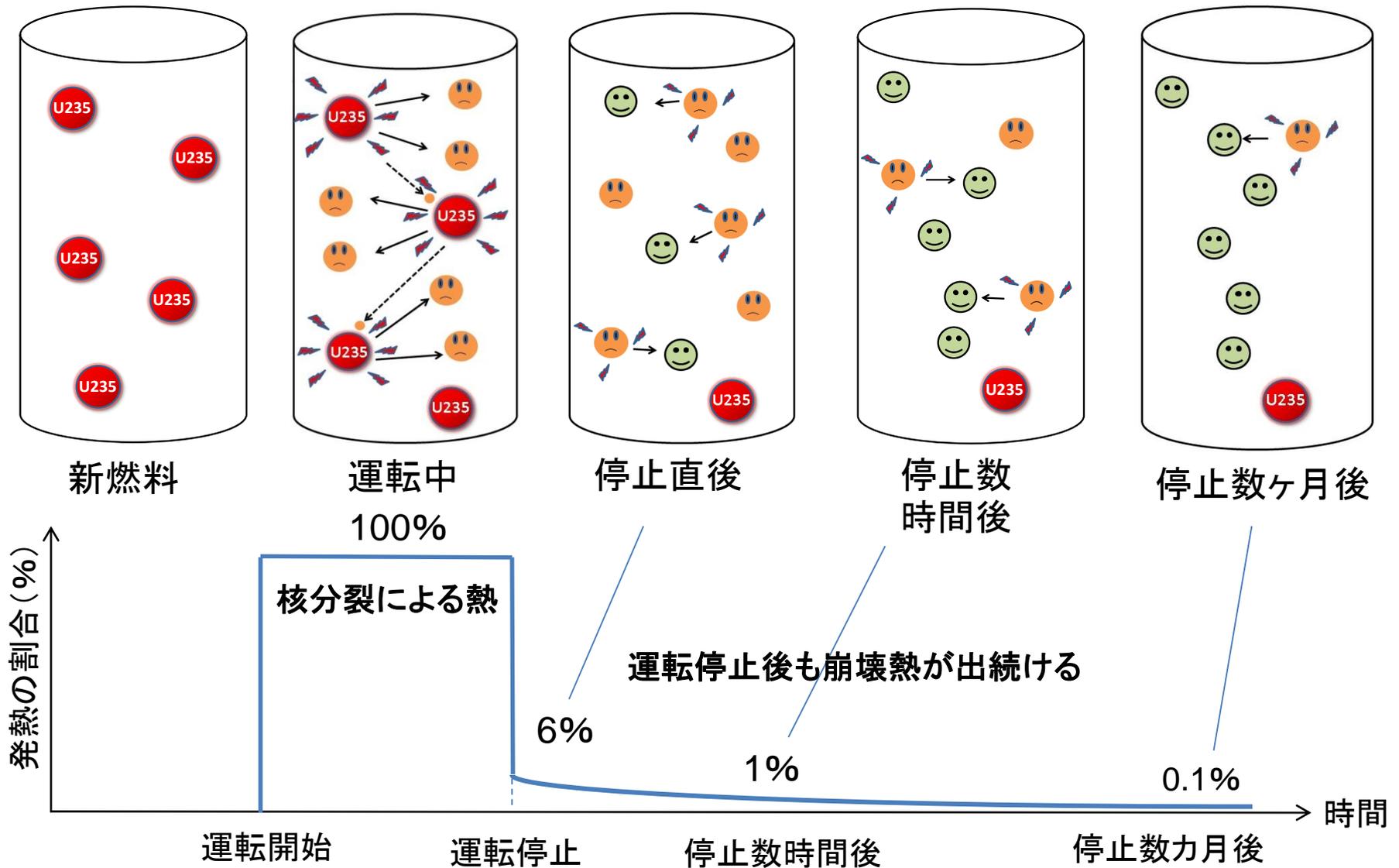
核分裂生成物(破片)は不安定

崩壊熱と放射線をはき出して安定化

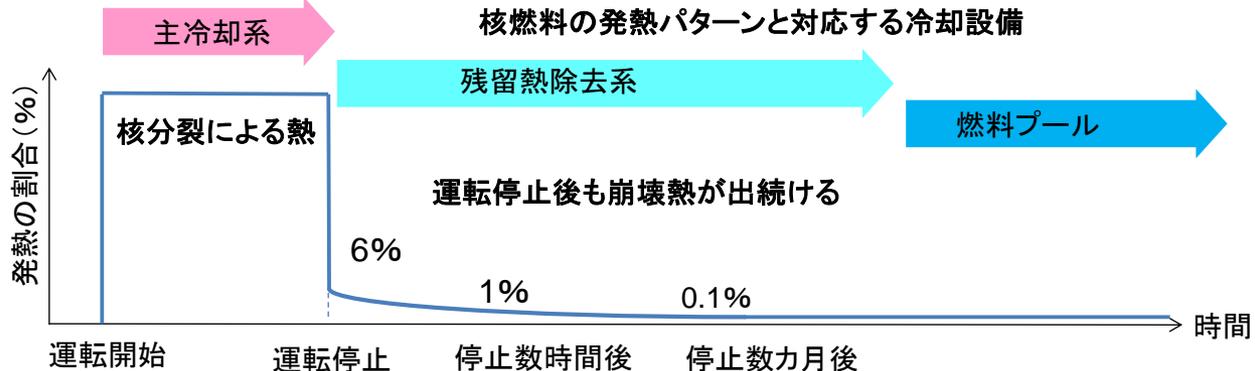
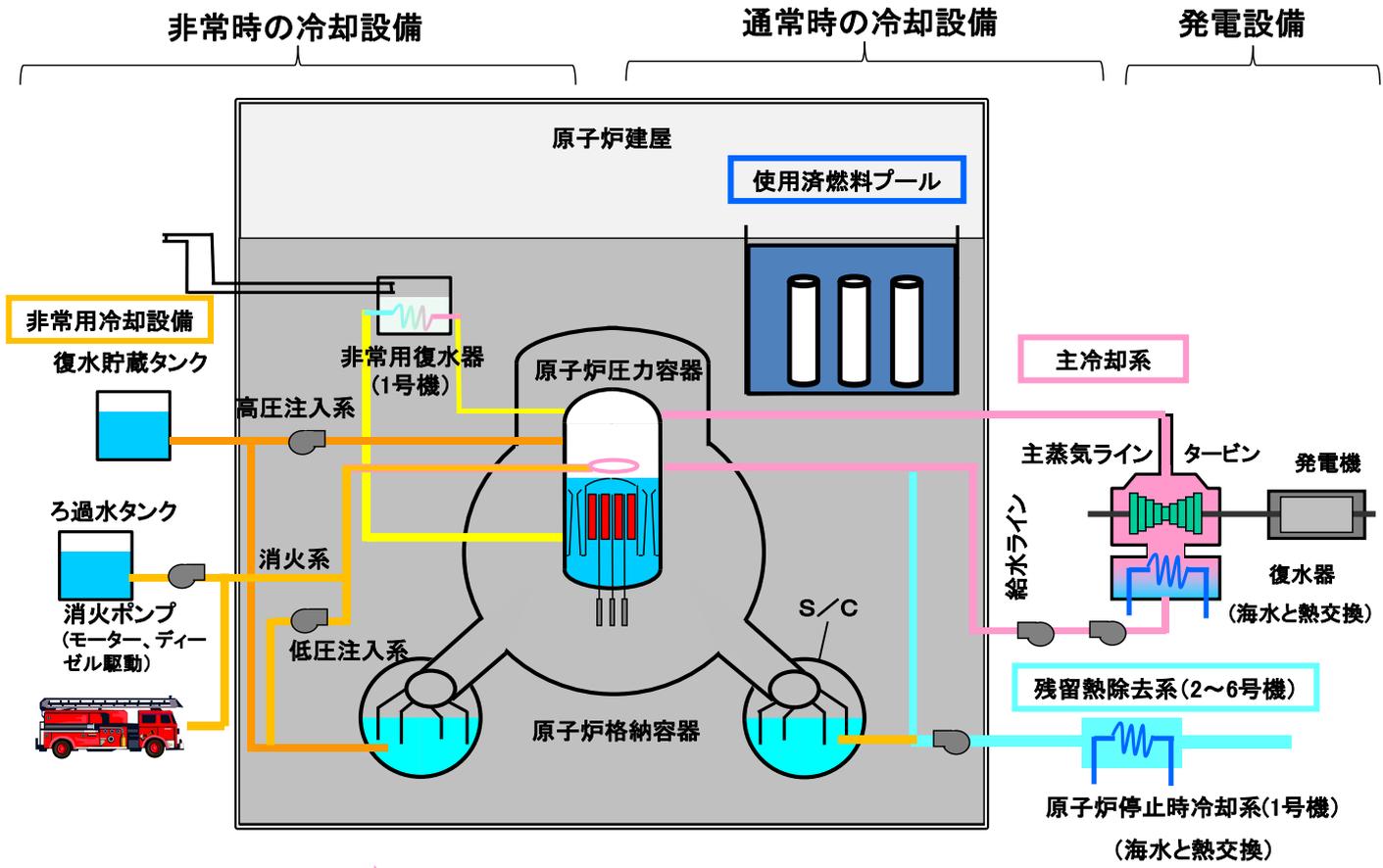


「放射能」とは「放射線」をはき出す能力

核分裂による熱と崩壊熱



原子力発電所の主な冷却設備と核燃料の発熱パターン

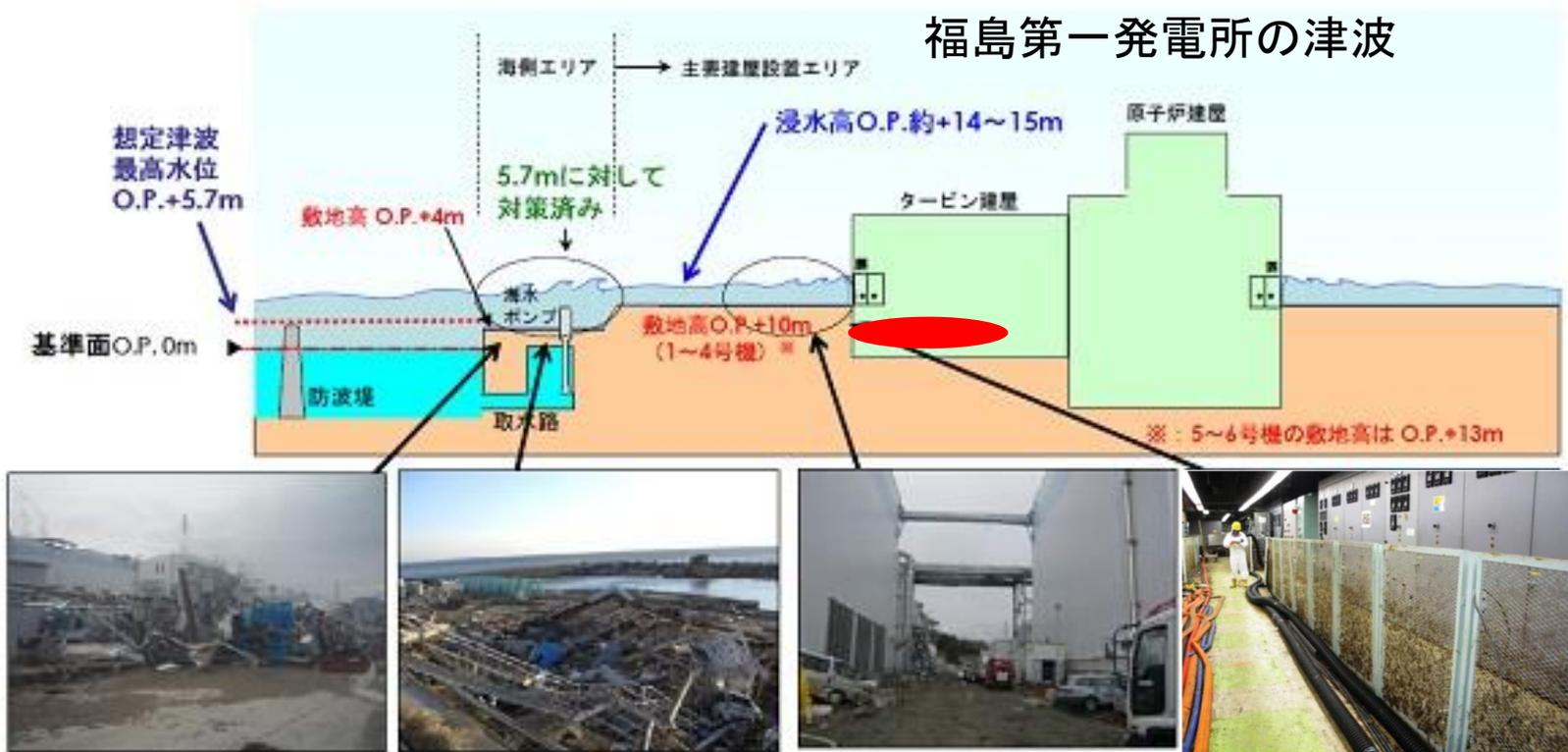


まとめ(その1)

- 原子炉の燃料は核分裂性のウラン235を3～5パーセント程度しか含んでおらず、原子爆弾のようにほぼ100%濃縮したものとは質的に異なり、原子炉が核爆発を起こす可能性はない。
- ウランが核分裂すると、放射線と崩壊熱を発生する放射性物質が燃料の中に生じる。崩壊熱を冷却しないと燃料が溶けて放射性物質が漏洩する危険性がある。
- 原子炉で想定される事故は、放射性物質が大量に外部に散逸し、人間に放射線障害を与え、環境を放射線や放射性物質で汚染することである。
- 事故を防止するための基本は、原子炉を「止める」、崩壊熱を「冷やす」、放射性物質を「閉じ込める」である。

福島原子力発電所事故の直接の原因と根本原因

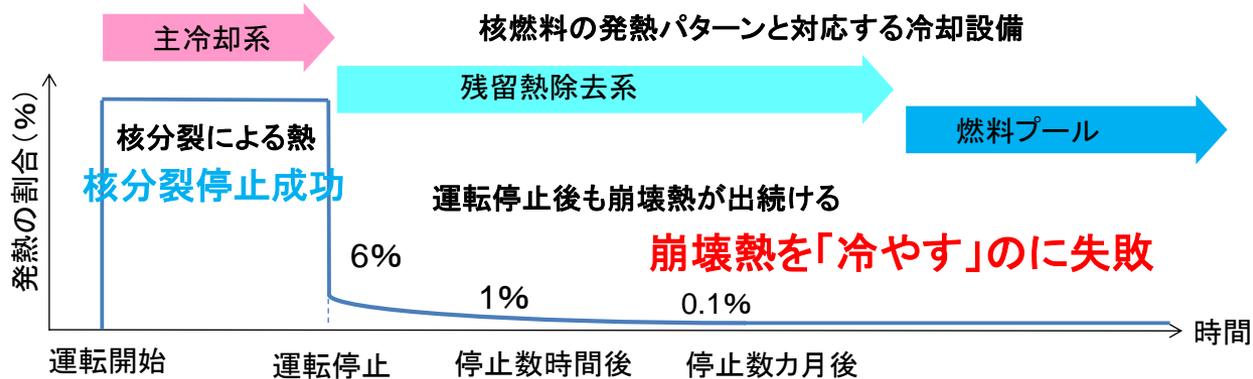
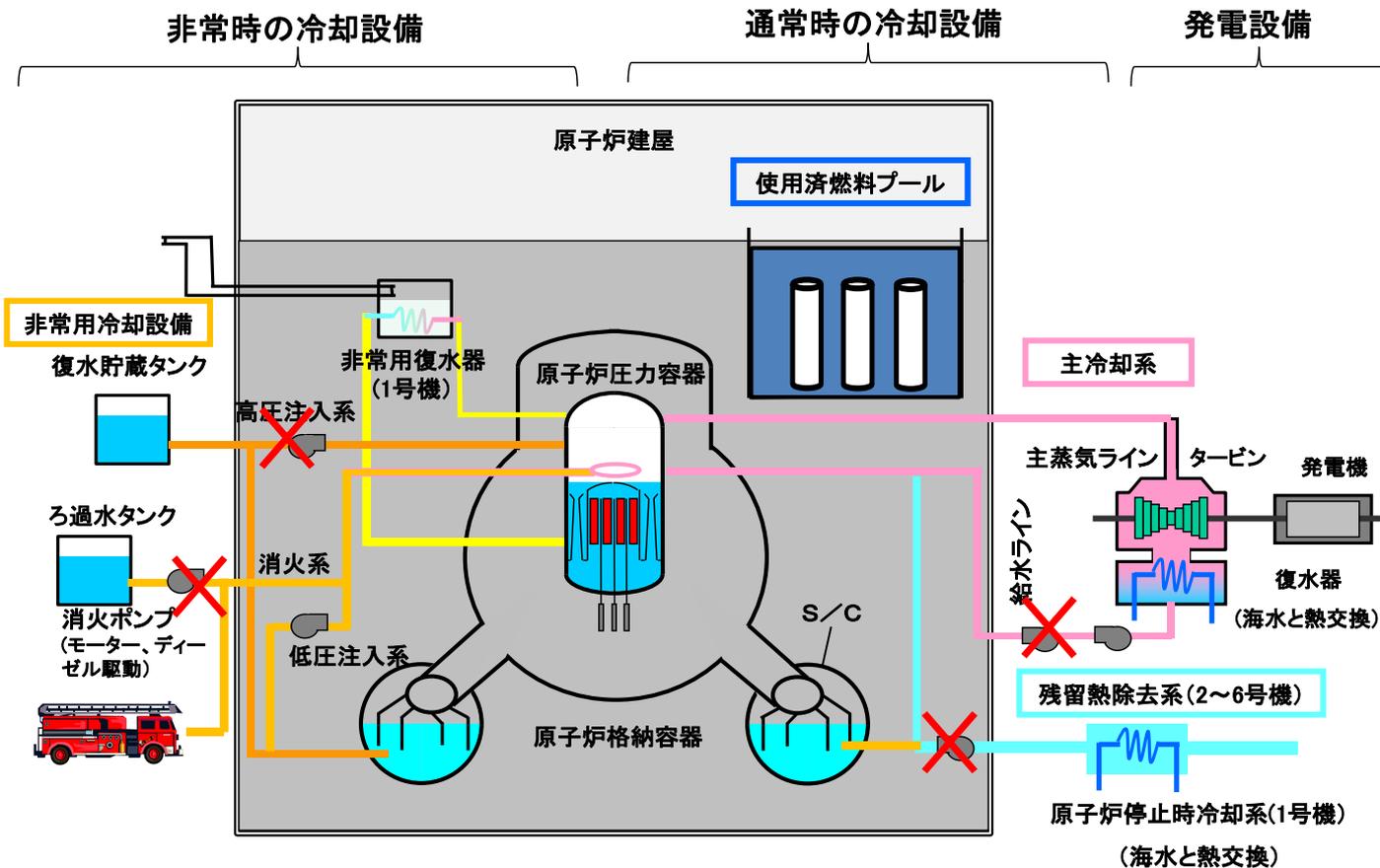
- 地震発生直後に制御棒が一斉挿入され原子炉を「止める」ことには成功した



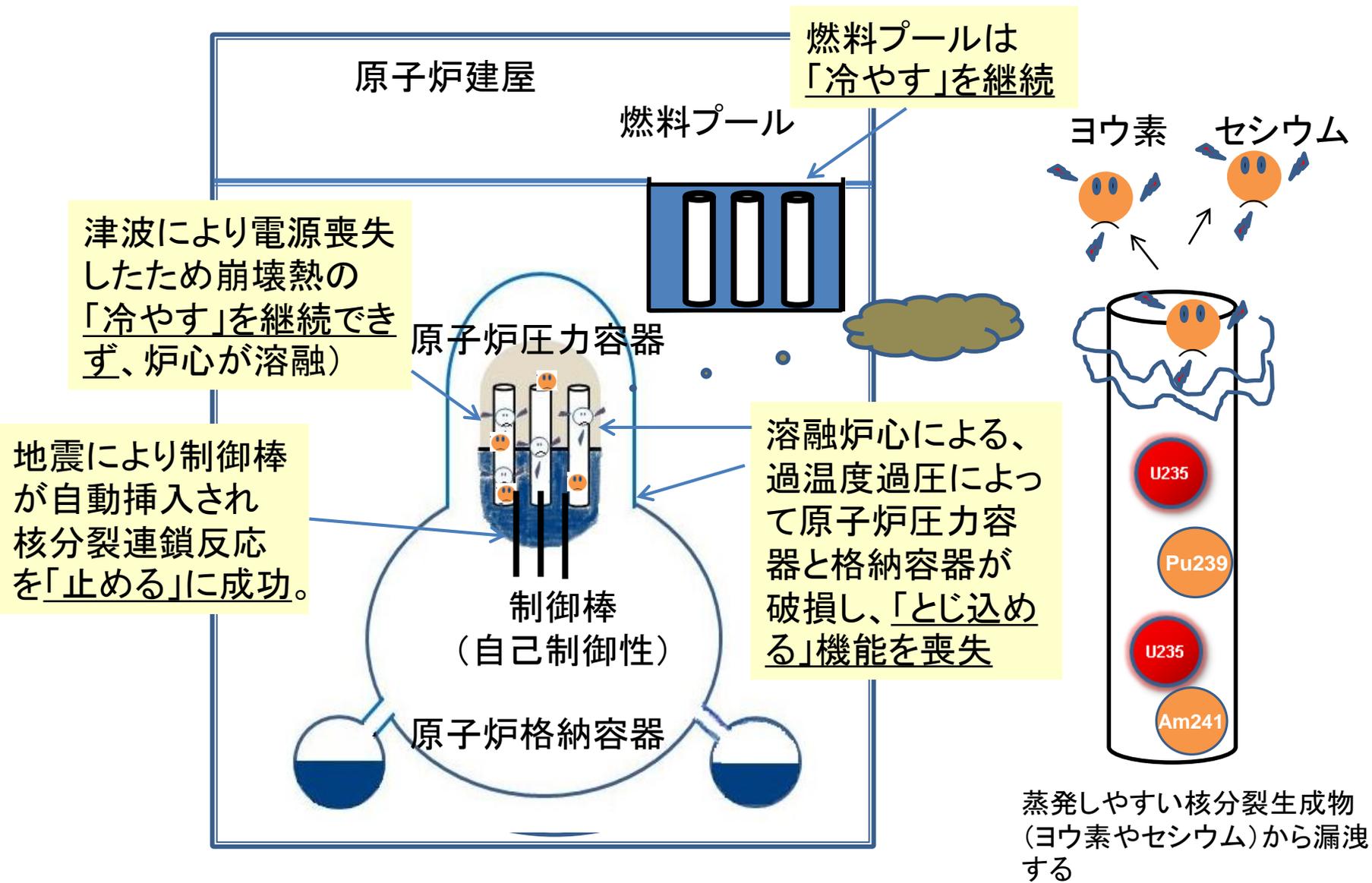
<http://www.meti.go.jp/press/2011/04/20110413006/20110413006.pdf>

- 約1時間後に到達した津波により配電盤が浸水し全電源を喪失した

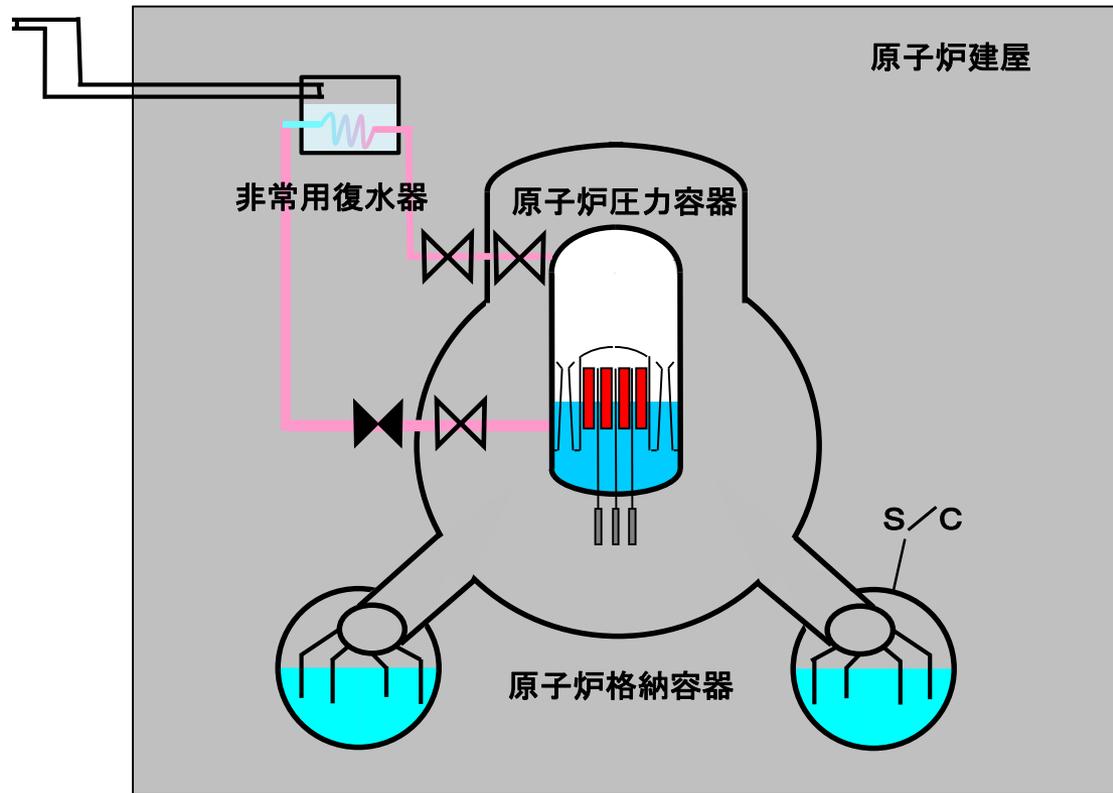
電源を喪失して崩壊熱の冷却設備が使えなくなった



崩壊熱冷却失敗により燃料が溶融し核分裂生成物の「閉じ込め」に失敗



実は電源が無くとも自然循環力で稼働する緊急冷却設備が備わっていた



原子炉隔離時冷却系IC（福島第一原子力発電所1号機）

バルブ開閉の確認と切り替え操作に必要な直流電源が失われ、緊急時への備えや訓練が不十分であったため、稼働させられなかった。
稼働できていれば、事故を防げた可能性が指摘されている。

海外では行われていた安全対策の事例

わが国では、事故を起こさないための努力に注力していたのとは裏腹に、海外では過酷事故が起ることを前提とした対策が数多くなされている。以下に例を示す。



写真提供：NHK「ドキュメンタリ-WAVE」2012年

米国ブラウズフェリー原子力発電所（福島と同型）

全電源喪失に備えた移動式の直流電源
（バッテリー）



写真提供：NHK「ドキュメンタリ-WAVE」2012年

米国ミルストン原子力発電所（福島と同型）

福島原発で開閉できなかったIC弁について、
電源喪失時に手動で開ける訓練が行われている。

まとめ(その2)

■地震により原子炉を「止める」ことには成功したが、約1時間後に到達した津波により、発電所地下室の配電盤が浸水し、崩壊熱を冷却するポンプを含む発電所内の機器に供給する電源が失われたことが、事故の直接の原因である。

■この結果、崩壊熱を「冷やす」ことが出来なくなり、燃料が溶融し内部の放射性物質の「閉じ込め」にも失敗した。

■福島原子力発電所にも、電源が無くとも自然の力で駆動する緊急冷却設備が備えられていた。事故が起こることを前提とした十分な準備をしていれば、上記装置を活用して事故を防げた可能性がある。

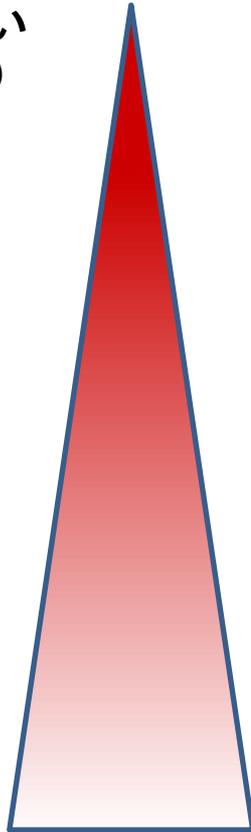
■事故を起こさないことばかりに集中し、事故が起こった場合の備えが不十分であったことが福島事故の根本原因の一つと考えられる。

安全維持に必要な態度とは

大事故
めったに起こらない
(隕石の衝突、等)

中事故
時々起る
(大地震、等)

小事故
頻繁に起る。
(機器故障、等)



実際の事故の発生頻度

事故は起こらないはず
(安全神話)



事故を起こさない努力

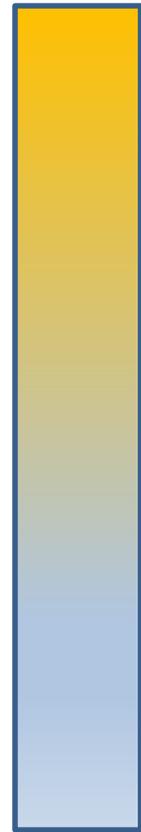


日本の態度(二者択一)

事故から人と環境を守る努力

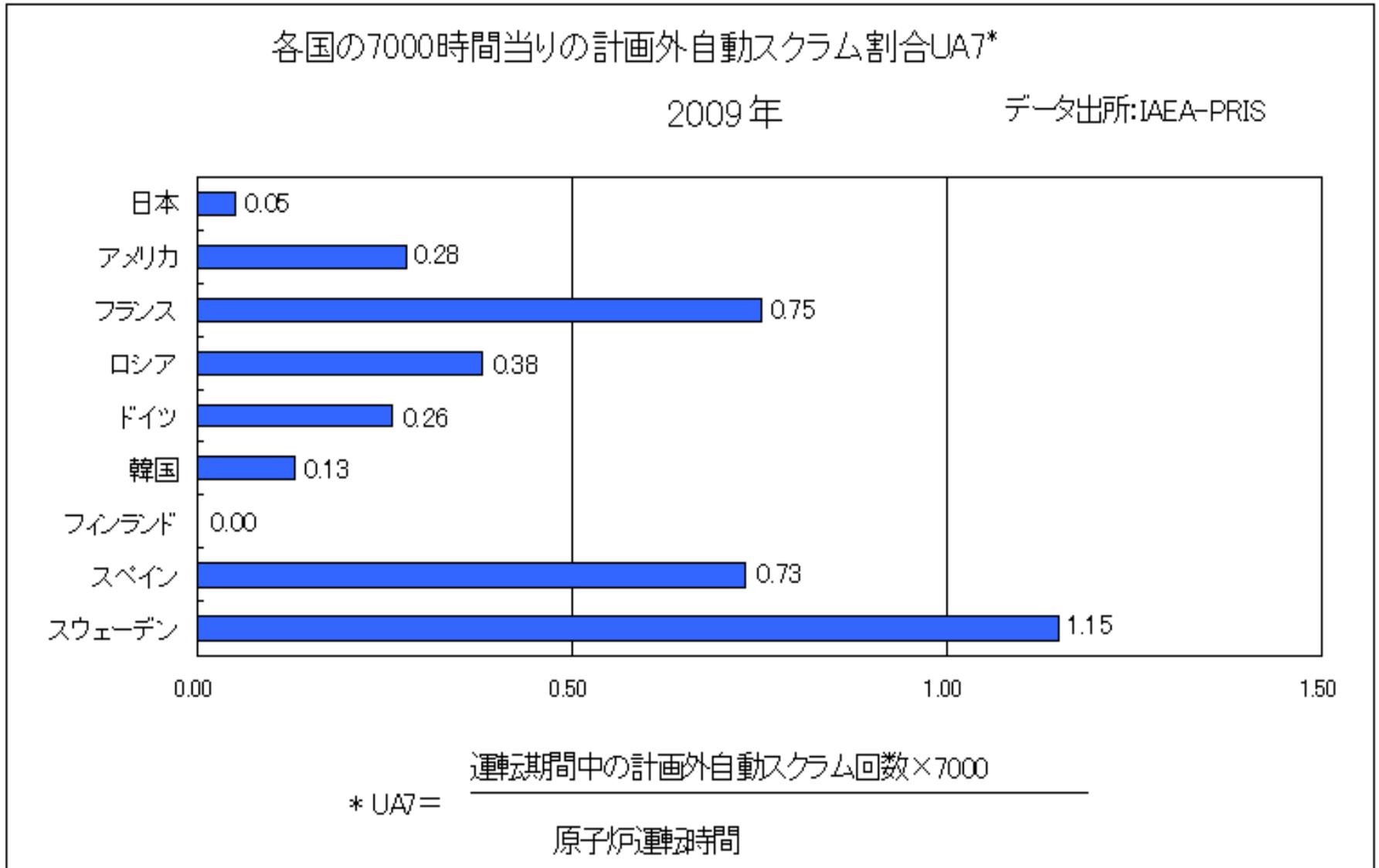
事故を拡大させない努力

事故を起こさない努力



欧米(起こり得ることすべてに対して対応)

日本の事故を起こさないための努力の例



海外に比べ、日本におけるプラントの安全は通常は高水準で維持されている。

事故に関しては徹底した防止を要求する反面、事故対策の学びは少ない

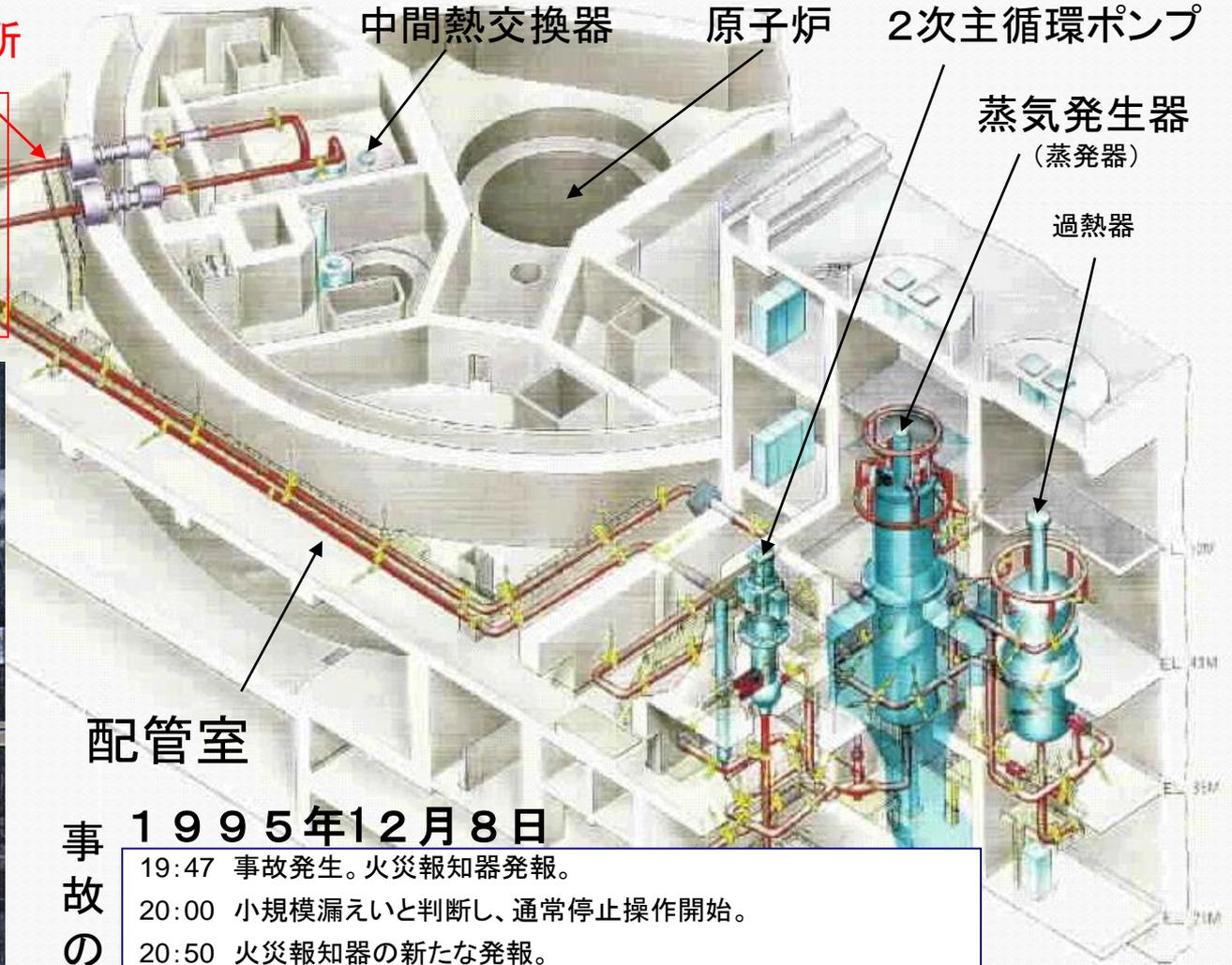
例：研究炉「もんじゅ」事故の扱い1度の事故で17年停止

ナトリウム漏えい箇所

漏えい量：640 kg
(2次系1ループ：約280 ton)
建物内回収：410 kg



温度計取付部周辺の状況



事故の経緯

1995年12月8日

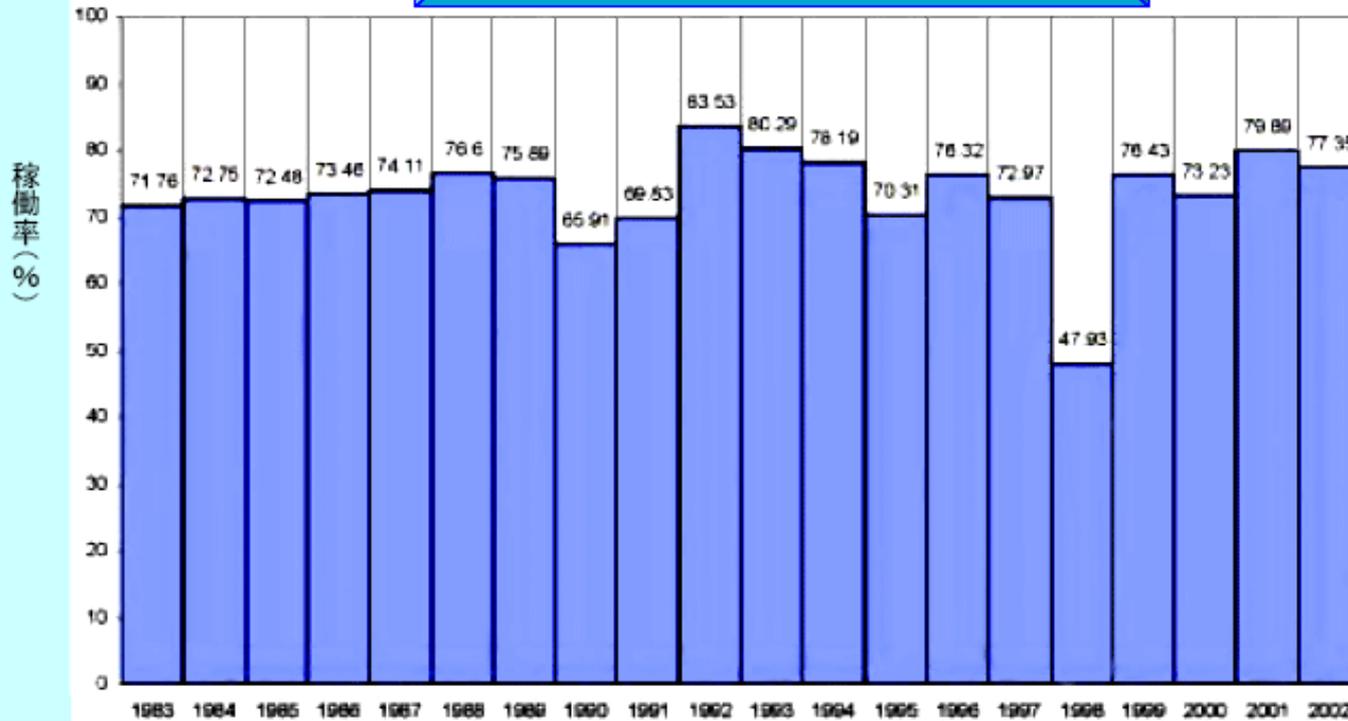
- 19:47 事故発生。火災報知器発報。
- 20:00 小規模漏えいと判断し、通常停止操作開始。
- 20:50 火災報知器の新たな発報。
- 21:20 原子炉手動トリップ操作。
- 22:53 ドレン(抜き取り)操作開始。(3時間40分漏えい)

ロシアの同型の研究炉 BN-600の運転実績

参考
BN-600運転実績

平均稼働率(22年間の運転期間)	74%
2002年の稼働率	77.35%
2003年の稼働率	75.7%

これまでの時間稼働率は平均で約74%(出力換算で約69%)であり、良好な運転実績を示している



BN-600

(参考) ROSENERGOATOM 社ホームページ <http://eng.rosatom.ru/>

[出典]資源エネルギー庁ホームページ:原子炉安全小委員会もんじゅ安全性確認検討会(第4回)、配布資料4-3「海外の高速炉におけるトラブル事例等の反映について」、JAEA(平成18年3月)、<http://www.meti.go.jp/committee/materials/downloadfiles/g60417b03j.pdf>、20/23

BN-600におけるナトリウム漏えい経験(事故対策を多く学ぶ)

システム	事故の数	漏えい規模(リットル) (下線はナトリウム燃焼事象)	ナトリウム 燃焼事象の数	放射能放出 Ci
1. 原子炉	—	—	—	—
2. 1次冷却系	5			
ガス純化系	1	0.1	—	
ナトリウム純化系	4	0.3, 3.0, 0.2, <u>1000</u>	1	0, 0.2 0.5 10
ナトリウム貯蔵システム	—		—	
3. 蒸気発生器	1	未公表	1	
漏えい検出系	1	<u>2</u>	1	—
4. ナトリウム受入システム	3	<u>10, 50, 10</u>	3	—
5. 2次冷却系	17			
主配管	—	—	—	—
主弁	4	<u>1, 300, 30, 10</u>	3	—
ドレンおよび放出ライン	9	<u>0.2, 1, 10, 1, 600, 300, 100, 0, 1</u>	5	—
ドレンライン弁	1	0	—	—
ナトリウム貯蔵システム	3	1, 0, 1	—	—
総計	27	約 2500	14	10.7

[出典]日本原子力産業会議調査委員会:ロシアの高速炉開発に関する調査報告、日本原子力産業会議
(1997年3月)、p.90

基準を定めてそれを守ってさえいれば良いという態度が、人を慢心させ、物へ依存するようになり脆弱になっていった例

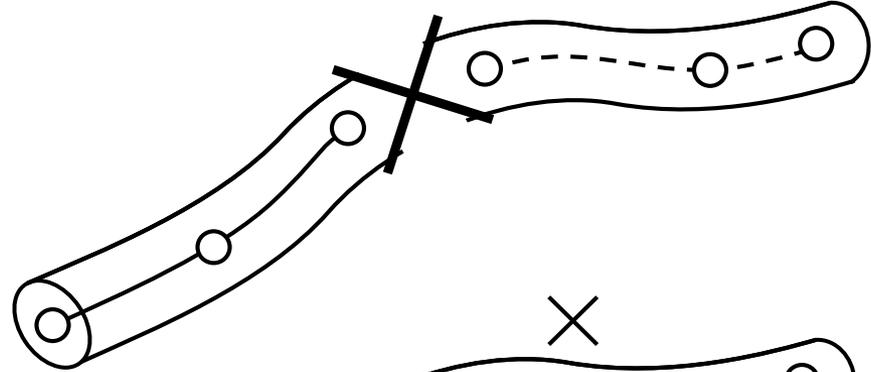
- **福島第一原子力発電所事故において、事故を起こさないための努力を懸命に実施した反面、事故が起こった後の対策が不十分であった。**
- **東日本大震災でも立派な防潮堤の存在が人々を安心させ、避難行動を遅らせて被害を拡大させてしまった。**
- **昔の子供は、今の基準から考えると危険な遊具を楽しみ、その中で痛みや注意を学んだ。現代の子供達は、安心を求める親により危険な遊具がとりはられ、そうした経験を積まなくなったことから、運動能力と共に危険の程度を察知して回避する能力が落ちている。**
- **加工食品などの衛生管理を徹底すると、それに頼って自ら匂いを嗅ぐなどの注意を怠り、体の抵抗力も低下することから、不衛生な海外などに出かけていくと腹痛などを起こす。**

危険性を常に認識することの難しさ

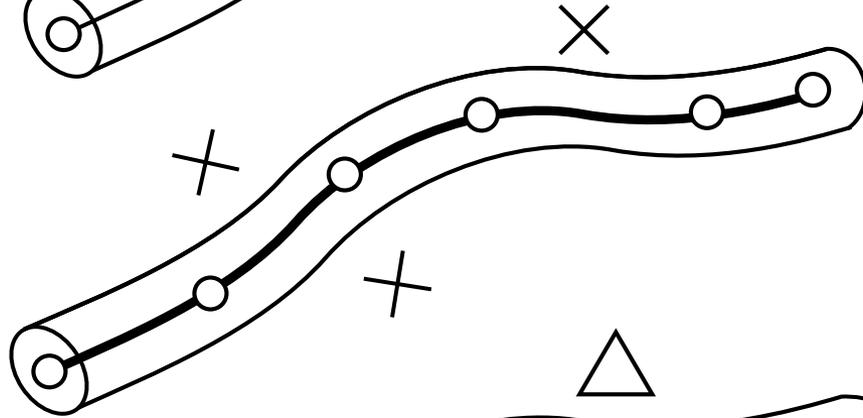
- 我々には、安全と判定されて無事故の状態が続くとそれを過信して、自分では無防備になる反面、際限の無い安心要求を政府や他人に押し付けるといった困った性質がある。
- 過剰な安心の要求は逆に安全を阻害する。国民からあくまで事故を起こさないための説明が求められ、それと矛盾する事故が起こることを前提とした対策を難しくした。
- 絶対安全の考え方や際限の無い安心要求も、安全性が高まった社会の産物とも思われる。戦争を体験した世代にそのような考え方は存在せず、現在においても国際社会ではそのような考え方は通用しないことが指摘されている。

失敗を許さず成功例をなぞったマニュアル化の弊害

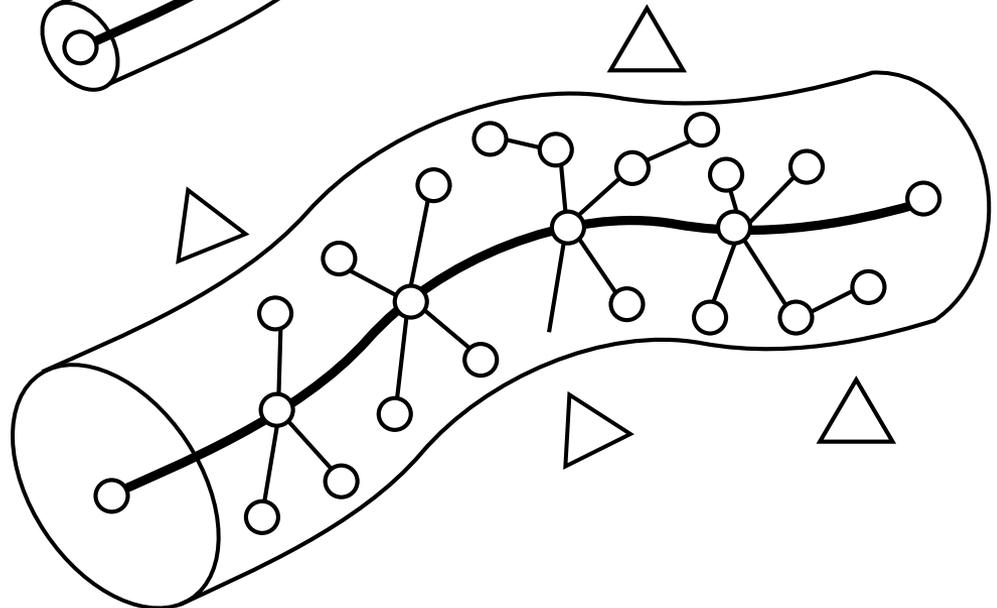
（マニュアル化で育った
人が社長になったとき）



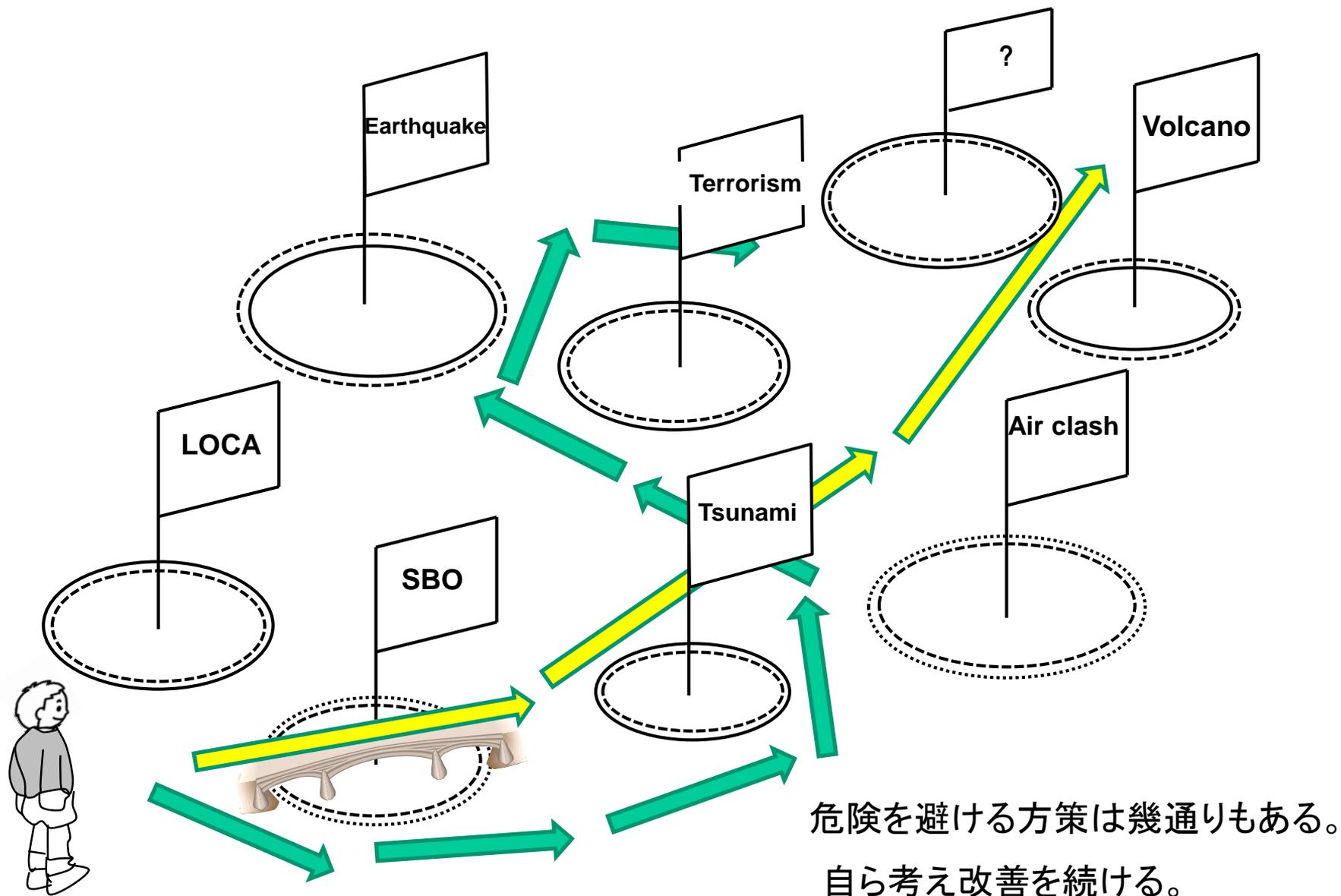
（マニュアル化が
進みすぎたとき）



（個々人のチャレンジ
を許す場合）



「危険学」危険地図を描きそこを避ける方策を自ら考える。



危険を避ける方策は幾通りもある。
自ら考え改善を続ける。

おわりに

- 人間は環境に柔軟な動物であることから、危険に備えていれば防備力が強くなり安全性が高まり、逆に安心して備えを止めると弱くなり危険性が高まる。
- 絶対安全は世の中に存在せず、事故は必ず起こることを前提として、そのリスクを低減する努力を続けることが、結果として安全の向上につながる。
- 失敗を許さず保護された社会は、各自の努力を減退させ、次第に国民の能力と社会の安全性を低下させていく。
- 個人が一定の緊張感を保ちながら潜在的危険性の存在を常に認識し、危険性を明らかにし、回避低減する努力を続けることが、健全な心構えである。